Journal of Water and Soil
https://jsw.um.ac.ir

Research Article
Vol. 38, No. 6, Feb.-Mar. 2025, p. 683-697

A Comparative Analysis of Energy Efficiency of Two Sprinkler Irrigation Systems for Wheat Cultivation (Case Study: Dehgolan Plains, Kurdistan)

P. Tahmasbi[1*], F. Dalvand[2], S.A. Hosseini[3], B. Karimi[4], H. Ghadrshnas[5]

1, 2 and 3- Ph.D. Candidate in Water Science and Engineering, Faculty of Agriculture, Bu-Ali Sina University, Hamedan, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir)
4- Associate Professor, Department of Irrigation and Drainage, Faculty of Agriculture, University of Kurdistan, Sanandaj, Iran
5- Senior Expert in Water Resources, Kurdistan Regional Water Authority, Sanandaj, Iran

Received: 08-10-2024 Revised: 07-12-2024 Accepted: 01-01-2025 Available Online: 01-01-2025	**How to cite this article:** Tahmasbi, P., Dalvand, F., Hosseini, S.A., Karimi, B., & Ghadrshnas, H. (2025). A comparative analysis of energy efficiency in two sprinkler irrigation systems for wheat cultivation (Case study: Dehgolan Plains, Kurdistan). *Journal of Water and Soil, 38*(6), 683-697. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90134.1439

Introduction

Agriculture plays a dual role in the energy sector meaning that it acts both as a source of raw material for bioenergy production and as a major consumer of energy, particularly in the processes of planting, cultivation and harvesting, transportation, processing, and storage of agricultural products. Among the numerous challenges facing the agricultural sector, optimizing energy or input consumption is of paramount importance. These key inputs play a crucial role in ensuring food security and economic stability for the country. One of the most important agricultural development programs in the country should be to increase efficiency of energy consumption in the agricultural sector. In Iran, approximately 9.2 million hectares have been equipped with modern irrigation systems (pressure system) which has increased the water productivity index from 0.87 kg m^{-3} in 2014 to 0.32 kg m^{-3} in 2014. Accordingly, it is predicted to reach 0.60 kg m^{-3} hectares until 2025. The Dehgolan Plain, located in the east of Sanandaj city, has an area of 84,982 square kilometers. Groundwater is the only source of water for agriculture in the region. Due to the annual decrease in the groundwater level, energy consumption for water extraction has increased. Common irrigation systems in the region's farms include fixed-mobile sprinkler classic rain irrigation systems, center pivot, and lateral roll. Thus, it seems necessary to evaluate the energy productivity and efficiency indexes in the mentioned plain. The main objective of this study is to evaluate the energy consumption indexes of wheat in farms under fixed-mobile sprinkler classic and Willet rain irrigation systems.

Materials and Methods

This study was conducted in the farms of Dehgolan plains where the energy consumption trend of input factors in two irrigation systems was investigated. All information related to input factors and working hours of machinery, agricultural equipment, and manpower was recorded at the end of the cropping season 1400-1401 through filling out questionnaires. The studied farms in this research were all under dry wheat cultivation and equipped with two rain irrigation systems, system 1 (fixed-mobile sprinkler classic) and system 2 (Wheel move irrigation). The required input factors for wheat production in each hectare were determined. The amount of different input factors for conversion to energy standard was calculated using energy coefficients and equivalents. As a result, energy productivity, energy use efficiency, specific energy, and net energy indexes were used to

https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90134.1439

investigate the energy consumption trend of wheat in the two mentioned irrigation systems.

Results and Discussion

The results of this study showed that the total input energy for wheat production in systems (1) and (2) was 85943.97 and 69189.04 MJ ha^{-1}, respectively and energy consumption in the Willet rain irrigation system was higher than in the fixed-mobile sprinkler classic rain irrigation system due to the high consumption of electricity and irrigation water. The electricity consumption in both systems accounted for the highest energy consumption. Moreover, the energy productivity and efficiency of the two systems were almost equal as well as the net energy of irrigation system (1) and irrigation system (2) was 41510.96 and 64156.03 MJ ha^{-1}, respectively.

Conclusion

In conclusion, this study focuses on evaluating the energy trends in rain irrigation systems used in dry wheat farms in the Dehgolan plains, Kurdistan province, Iran. In this study, the energy indexes of wheat in smallholder farmers' farms in Dehgolan plain, Kurdistan province, were evaluated. The studied farms were categorized into two groups, system (1) (fixed-mobile sprinkler classic rain irrigation system) and irrigation system (2) (Willet rain irrigation system), the energy source of which was electricity for both systems. At the end of the cropping season, the total amount of input and output factors were collected by filling out questionnaires in person, and to validate the amount of electricity consumption, its amount was obtained from the Dehgolan Electricity Company. The results of the research showed that the energy consumption per unit of wheat production in the Willet irrigation system was higher than in the fixed-mobile sprinkler classic irrigation system. This difference was due to the higher consumption of electricity and irrigation water in the Willet irrigation system. The energy productivity and efficiency indexes were almost equal in both systems. Eventually, the net energy of the fixed-mobile sprinkler classic irrigation system was higher than that of the Willet irrigation system.

Keywords: Consumed electricity, Input energy, Irrigation system, Performance, Wheel move

نشریه آب و خاک
https://jsw.um.ac.ir

مقاله پژوهشی

جلد ۳۸، شماره ۶، بهمن-اسفند ۱۴۰۳، ص. ۶۹۷-۶۸۳

بررسی مقایسه‌ای کارایی انرژی دو سامانه آبیاری بارانی در کشت گندم (مطالعه موردی: دشت‌های دهگلان، استان کردستان)

پیمان طهماسبی[۱]*- فاطمه دالوند[۲]- سید ابوالفضل حسینی[۳]- بختیار کریمی[۴]- هیرش قدرشناس[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۳/۰۷/۱۷

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۳/۱۰/۱۲

چکیده

تولیدات محصـولات کشـاورزی به انرژی ورودی و خروجی مزارع بسـتگی دارد. به این خاطر اسـتفاده کارا از منابع انرژی مصـرف‌شـده در تولید محصولات کشاورزی، یکی از مؤلفه‌های اصلی کشاورزی پایدار به‌شمار می‌رود. هدف از این پژوهش ارزیابی الگو انرژی مصرفی محصول گندم در دو سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت آبپاش- متحرک (سامانه ۱) و ویلموو (سامانه ۲)، است. اطلاعات مورد نیاز، شامل کل نهاده‌های ورودی (مصرفی) ساعات کارکرد ماشین‌ها و نیروی انسانی به‌صورت کاملاً تصادفی در ۵۰ مزرعه انتخابی در قالب پرسشنامه از کشاورزان در دشت شهرستان دهگلان در طول فصل زراعی ۱۴۰۰-۱۴۰۱ استخراج شد. در پایان فصل آبی، میزان برق مصرفی مزارع در واحد هکتار از شرکت برق منطقه‌ای شهرستان مذکور، دریافت شد. مقدار کل انرژی‌های ورودی در سامانه (۱) و (۲) به‌ترتیب ۶۹۱۸۹/۰۴ و ۸۵۹۴۳/۹۷ مگاژول در هکتار محاسبه گردید. مقدار انرژی خروجی در دو سامانه (۱) و (۲) به‌ترتیب ۱۱۰۷۰۰ و ۱۵۰۱۰۰ مگاژول در هکتار به‌دست آمد. بر این اساس مقادیر شاخص کارائی انرژی مصرفی در دو سامانه (۱) و (۲) به‌ترتیب ۱/۶۰ و ۱/۷۵ محاسبه گردید. سهم انرژی مستقیم در دو سامانه (۱) و (۲) ۱۳۹۳۳/۲۳ و ۱۷۶۷۸/۷۳ مگاژول در هکتار و همچنین سهم انرژی‌های تجدیدپذیر که یکی از معیارهای پایداری بوم نظامی کشاورزی است، در سامانه (۱) و (۲) به‌ترتیب ۵۲۰۹/۶۸ و ۴۹۲۹/۵۸ مگاژول در هکتار برآورد گردید. در کل با توجه به نتایج در دشت‌های شهرستان دهگلان به لحاظ جنبه‌های مصرف انرژی به‌نظر می‌رسد سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک کاراتر از سامانه آبیاری بارانی ویلموو می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: انرژی ورودی، سامانه آبیاری، برق مصرفی، ویلموو، عملکرد

مقدمه

تولیدات محصـولات کشـاورزی به انرژی ورودی و خروجی مزارع بسـتگی دارد (Nasseri., 2024). بخش کشـــاورزی، هم‌چنان‌که عرضـه‌کننده انرژی اسـت، مهم‌ترین مصـرف‌کننده انرژی نیز اسـت (Nasseri, 2024; Elsoragaby *et al*., 2019). ازاین‌رو بخش کشـــاورزی و انرژی متأثر از هم‌دیگر می‌باشــند (Ghorbani *et al*., 2011). چالش عمده در بخش کشـاورزی تأمین نیازهای غذایی جهان است (Giri *et al*., 2023). سنجش و بررسی مصرف انرژی نهاده‌ها یک رویکرد مهم برای بهبود جنبه‌های اقتصـادی و زیسـت‌محیطی سـامانه‌های تولید اسـت. انرژی عنصـری حیاتی در سـامانه‌های تولید

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه بوعلی‌سینا، همدان، ایران

(*- نویسنده مسئول: Email: p.tahmasebi@agr.basu.ac.ir)

۴- دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه کردستان، سنندج، ایران

۵- کارشناس ارشد منابع آب، سازمان آب منطقه‌ای استان کردستان، سنندج، ایران

https://doi.org/10.22067/jsw.2025.90134.1439

است که برای حرکت در مسیر تولید پایدار باید ارزیابی شود (Kheiralipour, 2022). زیرا انرژی از شاخص‌های بسیار مهم جهت تولید محصولات کشاورزی است و بهره‌وری انرژی به‌صورت میزان تولید محصولات به مقدار انرژی مصرفی تعریف شده است که مسئولان حوضه کشاورزی بایستی در ارتقاء آن کوشا باشند (Almasi *et al.*, 2008). از طرف دیگر ارزیابی انرژی نهاده‌ها به‌عنوان یک ابزار مهم به‌منظور طراحی، مدل‌سازی و بررسی عملکرد سامانه‌های کشاورزی توسط اکثر محققین در مناطق مختلف جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد (Kitani, 1999). ازاین‌رو آنالیز و بررسی انرژی (ورودی و خروجی) از طریق محاسبه و آنالیز محتویات، شاخص‌ها و فرم‌های انرژی، موضوعات اخیری هستند که باعث افزایش کارایی انرژی مصرفی نهاده‌ها در حوضه کشاورزی می‌شوند. عوامل زیادی در کارایی مصرف انرژی در بخش کشاورزی دخیل است که ازجمله می‌توان به اندازه مزارع، سطح مکانیزاسیون و نوع محصول کشت شده اشاره کرد به‌عبارتی مصرف انرژی در سامانه‌های مختلف تولیدات کشاورزی متفاوت است (Mohammadi *et al.*, 2014). انرژی در بخش کشاورزی به دو صورت مستقیم و غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر طبقه‌بندی می‌گردد (Vahedi & Zarifneshat, 2021). امروزه برای تولید محصولات کشاورزی، نهاده‌هایی همچون سوخت، برق مصرفی، ماشین و ادوات کشاورزی، بذر، کودها و سموم کشاورزی سهم قابل ملاحظه‌ای در تأمین منابع انرژی را دارند (Hamedani *et al.*, 2011). همچنین در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در زمینه کارایی مصرف انرژی در تولید محصولات مختلف کشاورزی مصرف دو نهاده برق مصرفی و سوخت فسیلی که عمدتاً برای استحصال آب آبیاری استفاده می‌گردد به‌عنوان مهم‌ترین نهاده‌های مصرفی ذکر شده‌اند (Zangeneh *et al.*, 2010; Ghasemi-Mobtaker *et al.*, 2012; Mohammadi *et al.*, 2014; Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2017).

گندم (*Triticum aestivum* L.) به‌عنوان منبع اصلی غذایی عمده جهان، بیش از ۷۰ درصد کالری روزانه مورد نیاز انسان را تأمین می‌کند (Zulfiqar *et al.*, 2023). این غله پرمصرف و با اهمیت در امنیت غذایی بیش از ۲۱ درصد از جمعیت جهان نقش اساسی ایفا می‌کند و در مساحتی بیش از ۲۰۰ میلیون هکتار در سراسر جهان کشت می‌گردد (Senbeta & Worku, 2023) که از این لحاظ وسیع‌ترین محصول کشت شده به‌حساب می‌آید (“Food and Agriculture Organization of the United Nations,” n.d.). در ایران با توجه به اهمیت محصول گندم در امنیت غذایی مردم، این محصول از اهمیت فراوانی در سیاست‌گذاری‌ها و جهت‌گیری‌های دولت‌ها و دست‌اندرکاران و متولیان حوضه کشاورزی برخوردار است (Mirbagheri *et al.*, 2017). همچنین سطح زیر کشت این محصول راهبردی در ایران تقریباً ۶ میلیون هکتار است که با ۵۰ درصد بیش‌ترین سطح زیر کشت گیاهان زراعی را به خود اختصاص می‌دهد، از سطح ۶ میلیون هکتار ۲ میلیون هکتار آن به گندم آبی و چهار میلیون هکتار آن به گندم دیم اختصاص یافته است (Ministry of Agriculture Jihad., 2020). با عنایت به اهمیت گندم در سبد غذایی خانوارهای ایرانی و صنایع غذایی کشور، این محصول به‌عنوان محصول مورد مطالعه در این پژوهش در نظر گرفته شده است.

سفره‌های آبخوان زیرزمینی در اکثر کشورها از جمله ایران یکی از منابع مهم تأمین آب برای آبیاری مزارع کشاورزی است. همچنین کمبود منابع آب سطحی و عواملی همچون رشد جمعیت، گسترش شهرنشینی و توسعه مزارع شیلات باعث استفاده بی‌رویه از این منابع آبی به‌خصوص در استان کردستان شده است. از دشت‌های حاصلخیز غرب کشور دشت دهگلان با مساحت ۹۸۲/۸۴ کیلومتر مربع است که در موقعیت شرقی شهرستان سنندج واقع گردیده است. در آبخوان دشت دهگلان بیش از ۹۶۵ چاه مجاز و غیرمجاز فعال وجود دارد. با مقایسه و بررسی تغییرات تراز سطح ایستابی آبخوان دشت مذکور طی دوره سی ساله (۱۳۶۶-۱۳۹۶) نتایج نشان داد که میزان افت سالانه آبخوان سالانه در حدود ۱/۳۳ متر بود که این میزان بیش از دو برابر متوسط کشوری است (Niazmand *et al.*, 2023). همچنین طی دوره مذکور با محاسبه بیلان آب زیرزمینی، کسر تجمعی آبخوان ۱۷/۴ میلیون متر مکعب بود (Bayazidi & Kaki, 2021). (Ghahroudi *et al.*, 2023) نشان دادند به‌طور متوسط در دشت دهگلان استان کردستان طی دوره زمانی ۱۳۹۲-۱۴۰۰، سالانه به‌میزان شش سانتی‌متر به دلیل افت تراز سطح ایستابی آبخوان منطقه فرونشست رخ داده بود. آبخوان ممنوعه دشت دهگلان عمده‌ترین منبع تأمین آب کشاورزی منطقه است که سالانه به‌دلیل نبود مدیریت درست، برداشت بی‌رویه و حفر چاه‌های غیرمجاز وضعیت آبخوان سال‌به‌سال بحرانی‌تر می‌شود.

سامانه‌های نوین آبیاری رایج در دشت دهگلان اکثراً سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک بودند؛ که در برخی از نقاط دشت مذکور سامانه‌های آبیاری بارانی ویلموو (لوله چرخدار) و سنترپیوت (عقربه دوار مرکز) نیز گزارش شده است. مزیت این سامانه‌های آبیاری پتانسیل و راندمان آبیاری بالایی آن‌ها است و معمولاً به انرژی زیادی هم نیاز دارند. تنها منبع انرژی سامانه‌های ایستگاه پمپاژ چاه‌های مزارع مورد مطالعه دشت مذکور برای انتقال و توزیع آب داخل مزارع در دو سامانه‌های آبیاری بارانی مذکور (سامانه آبیاری ویلموو و کلاسیک ثابت آبپاش- متحرک)، برق (الکتریسیته) بود. انرژی نقش بسیار مهمی در حوضه کشاورزی و سامانه‌های آبیاری دارد (Gholami, Ebrahimian, & Nouri, 2015). در واقع انرژی مؤلفه‌ای ضروری و کلیدی برای هر سامانه آبیاری تحت‌فشار است. بهره‌برداری بیش‌ازحد مجاز از منابع آب‌های زیرزمینی باعث افت شدید تراز سطح آب زیرزمینی شده است که این امر موجب بالا بردن

انرژی مورد نیاز جهت پمپاژ آب‌های زیرزمینی می‌گردد. (Bayat et al., 2022) با توجه به افت سالیانه سطح ایستابی آبخوان، انرژی مصرفی برای پمپاژ آب افزایش می‌یابد. بنابراین بالا بردن سطح بهره‌وری انرژی یکی از راه‌حل‌های چالشی بخش کشاورزی در آینده‌ای بسیار نزدیک است. ازاین‌رو شناخت و آگاهی یافتن از میزان بهره‌وری انرژی ورودی و خروجی در سامانه‌های آبیاری اولین قدم جهت مدیریت و بهینه کردن استفاده از انرژی‌های مصرفی خواهد بود. زیرا تولیدات کشاورزی و امنیت غذایی وابسته به انرژی است (Gholami et al., 2015). ضمن این‌که برای برآورد ساختن نیازهای غذایی جمعیت رو به رشد بشر، یک سامانه پایدار با بهره‌وری مطلوب باید در اولویت قرا بگیرد. در نتیجه تجزیه‌وتحلیل سامانه‌های مختلف کشاورزی می‌توان به‌میزان استفاده از کل اشکال انرژی پی‌برد و می‌توان از منابع محدود نظیر زمین، آب و منابع بیولوژیکی برای نسل‌های آینده محافظت کرد (Pimentel, Pimentel, & Food, 1996). هر چند کشاورزی زمانی از بهره‌وری مطلوب انرژی برخوردار خواهد بود که سامانه‌های آبیاری مزارع، علاوه بر عملکرد هیدرولیکی مناسب از مصرف انرژی کارآمد نیز برخوردار باشد (Sánchez-Sutil & Cano-Ortega, 2021). مطالعات مختلفی در مورد توازن انرژی در سامانه‌های زراعی به انجام رسیده است (Ozkan, Akcaoz, & Fert, 2004 ; Tipi, Cetin, & Vardar, 2009 Ozkan et al., 2004). به تحلیل انرژی ورودی و خروجی در کشاورزی ترکیه به‌منظور تعیین مصرف انرژی در دوره ۲۰۰۰– ۱۹۷۵ پرداختند. نهاده‌های مورد نظر در محاسبات مصرف انرژی شامل نیروی انسانی، ماشین‌ها، الکتریسیته، گازوئیل، کودهای شیمیایی، بذر و انرژی خروجی شامل ۳۶ محصول کشاورزی بود. نتایج نشان داد که کل انرژی‌های ورودی و خروجی در طی زمان افزایش یافته اما نسبت انرژی خروجی به انرژی ورودی طی زمان کاهش پیدا کرده است. یعنی در حقیقت بخش کشاورزی در مصرف نهاده‌ها به‌صورت کارا عمل نکرده است. (Sing et al., 2007) به‌منظور بیشینه کردن عملکرد محصول گندم به مقایسه الگوهای مصرف انرژی در نقاط مختلف هند پرداختند. نتایج نشان داده بود که سطح تکنولوژی، انرژی‌های ورودی و عوامل اقلیمی و زراعی جزء مهم‌ترین عوامل تأثیرگذار در تولید گندم به شمار می‌روند. ضمن این‌که بیش‌ترین میزان انرژی ورودی برای گندم ۱۷/۸ گیگا ژول در هکتار و بالاترین نسبت انرژی ۵/۲ را محاسبه کردند. برخی محققین (Tipi et al., 2009) با ارزیابی مصرف انرژی از ۹۷ مزرعه گندم در ایالت مارماری ترکیه نشان دادند که انرژی مصرفی برای تولید گندم به میزان ۲۰۶۵۳/۵ مگاژول در هکتار بود که در میان انرژی مصرفی به‌ترتیب سوخت و کودهای شیمیایی با ۴۵/۱۵ درصد و ۳۴/۲۱ درصد بیش‌ترین سهم را در کل انرژی مصرفی داشتند. همچنین نسبت انرژی را ۳/۰۹ برآورد کردند و به این نتیجه رسیدند که با افزایش اندازه مزارع گندم نسبت انرژی نیز افزایش می‌یابد. یدی و همکاران (Yadi et al., 2022)، با بررسی میزان مصرف انرژی ۱۰ مزرعه تولید گندم و ارتباط انرژی ورودی و خروجی در منطقه استان ساری نشان دادند که میانگین انرژی ورودی به میزان ۱۴۵۹۷/۷۶ مگاژول در هکتار بود. از کل انرژی‌های ورودی انرژی مستقیم و غیرمستقیم به‌ترتیب ۳۳۵۱/۲۶ مگاژول در هکتار و ۱۱۲۴۵/۶۹ مگاژول در هکتار را دارا بودند. میانگین عملکرد دانه گندم ۴۲۷۵ کیلوگرم در هکتار بود. همچنین میانگین بهره‌وری انرژی را معادل ۰/۲۹ کیلوگرم بر مگاژول گزارش کردند. محققین دیگر (Gökdoğan & Sevim, 2016) با تحلیل انرژی مصرفی تولید محصول گندم در دوازده روستای منطقه اسکیل استان آسکاری ترکیه، انرژی ورودی و خروجی را به‌ترتیب ۲۵۸۷۶/۲۹ و ۷۶۹۹۰/۹۶ مگاژول در هکتار گزارش کردند. همچنین در این مطالعه کارایی انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و افزوده خالص انرژی را به‌ترتیب ۲/۹۷، ۰/۲ کیلوگرم در ژول، ۴/۹۴ مگاژول در کیلوگرم و ۵۱۱۱/۶۷ مگاژول در هکتار به‌دست آوردند. نظری و همکاران (Nazari et al., 2016) طی پژوهشی در محدوده شبکه آبیاری و زه‌کشی دشت قزوین میزان انرژی لازم را جهت تأمین یک متر مکعب آب در سامانه‌های آبیاری بارانی متحرک پیوسته (سنتر و لینیر)، سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت– آبپاش متحرک و سامانه آبیاری موضعی را به‌ترتیب ۰/۲۰۵، ۰/۲۹۰ و ۰/۲۰۲ کیلووات ساعت در متر مکعب به‌دست آوردند. قدمی فیروزآبادی و اکبری (Ghadami Firouzabadi & Akbari, 2024) به بررسی تأثیر انواع سامانه‌های آبیاری بر میزان حجم آب مصرفی و عملکرد محصول گندم در استان همدان پرداختند. نتایج نشان داد که میانگین حجم آب مصرفی به‌ترتیب برای سه سامانه آبیاری قطره‌ای، بارانی و سطحی به‌ترتیب ۴۱۵۳، ۴۰۹۰ و ۵۹۱۸ متر مکعب در هکتار بود و میزان متوسط عملکرد مربوط به سامانه آبیاری قطره‌ای به میزان ۵۵۸۱ کیلوگرم در هکتار و در دو سامانه آبیاری بارانی و سامانه آبیاری سطحی به‌ترتیب ۴۳۸۱ و ۳۰۰۰ کیلوگرم در هکتار گزارش کردند. با توجه به این‌که حوضه کشاورزی به‌ترتیب بعد از حوضه‌های خانگی و صنعتی در ایران در رتبه سوم مصرف برق قرار دارد (Ghadami Firouzabadi & Akbari, 2024).

بحث بحران کمبود آب و رشد سریع سامانه‌های آبیاری تحت‌فشار در دشت دهگلان استان کردستان چند دهه‌ای است موردتوجه مسئولین و محققین قرا گرفته اما هیچ مطالعه‌ای در ارتباط با روند انرژی مصرفی در این سامانه‌ها گزارش نشده است. لذا با توجه به نتایج اهمیت نهاده‌های مصرف‌شده به‌ویژه آب در کشاورزی و سهم بالای انرژی الکتریسیته مصرفی مورد نیاز برای پمپاژ آب در منطقه به‌علت پائین رفتن سطح‌تراز آبخوان، هدف این تحقیق مطالعه بررسی روند انرژی و تعیین شاخص‌های انرژی در تولید محصول استراتژیک منطقه (گندم) تحت دو سامانه‌های آبیاری بارانی کلاسیک ثابت–

آبپاش متحرک و سامانه آبیاری بارانی ویلموو خواهد بود.

مواد و روش

مشخصات جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

شهرستان دهگلان با وسعت ۱۷۵۰ کیلومترمربع، یکی از دشت‌های حاصلخیز استان کردستان است؛ که نقش بسیار مهمی در رشد اقتصاد مردم و کشاورزی استان ایفا می‌کند. دشت‌های دهگلان که قطب کشاورزی مکانیزه غرب کشور محسوب می‌شود در ۴۵ کیلومتری شرق شهر سنندج با عرض جغرافیایی ۳۵ تا ۳۵/۵ درجه شمالی، طول جغرافیایی ۴۷/۷ تا ۴۷/۲ درجه شرقی به نسبت نصف‌النهار گرینویچ واقع شده است. میانگین بارش سالانه این شهرستان ۳۵۲ تا ۳۹۶ میلی‌متر بوده و در ارتفاع ۱۸۷۶ متر از سطح دریا واقع شده است. وضعیت توپوگرافی دشت دهگلان ملایم، با دامنه تغییرات ارتفاع ۳۱۹ متر، حداکثر ارتفاع ۲۰۵۰ متر و حداقل ارتفاع ۱۷۳۱ متر است. سطح زیرکشت محصولات زراعی در دشت دهگلان حدود ۱۹ هزار هکتار است محصول گندم از عمده تولیدی مزارع بود که از دو سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک (سامانه ۱) و ویلموو (سامانه ۲) برای آبیاری محصول مذکور استفاده می‌شد (Niazmand *et al.*, 2023).

نحوه جمع‌آوری داده‌ها

اطلاعات مورد نیاز تحقیق شامل عملیات زراعی، میزان و نوع نهاده‌های مصرفی و عملکرد محصول گندم در این مطالعه از طریق مراجعه حضوری و تکمیل پرسشنامه، به‌صورت چهره‌به‌چهره توسط کشاورزان مربوطه در منطقه مذکور در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱ تهیه گردید و با استفاده از آمار و اطلاعات سازمان جهاد کشاورزی استان کردستان و نیز باتجربه‌ها، کارشناسان و متخصصان کشت محصول گندم در سطح شهرستان درستی این داده‌ها کنترل گردید. پس از جمع‌آوری داده‌ها برای هر پارامتر میانگین‌گیری شد. در مرحله بعدی داده‌های مربوط به انرژی ورودی و خروجی مورد نیاز برای تولید محصول گندم در هکتار مشخص گردید و برای تبدیل مقادیر مختلف نهاده‌ها (ورودی و خروجی) به واحد انرژی (مگاژول در هکتار) طبق جدول ۱ از ضرایب و هم‌ارزهای استاندارد انرژی استفاده گردید.

نهاده‌های مصرفی ورودی و خروجی در هر دو سامانه مذکور

نهاده ورودی نیروی انسانی، از مجموع ساعات نیروی کارگری که صرف عملیات‌های مختلف زراعی نظیر (شخم، تسطیح، مرزبندی، دیسک، آبیاری، کشت بذر، کودپاشی، سم‌پاشی، برداشت، حمل و نقل و غیره) می‌گردد محاسبه شد. میزان محاسبه شده در معادل انرژی آن یعنی عدد ۱/۹۶ مگاژول ضرب و میزان انرژی نیروی انسانی بر حسب مگاژول در هکتار محاسبه شد. نهاده ورودی ماشین‌ها از مجموع ساعات کارکرد ماشین‌ها و ادواتی که از کاشت تا برداشت و همچنین حمل و نقل مورد استفاده قرار گرفته می‌شوند. مقدار گازوئیل و روغنی که جهت سوخت ماشین‌ها مختلف برای عملیات (شخم، کاشت، آبیاری، کود دهی، سم‌پاشی، برداشت و حمل و نقل) در هر هکتار از مزارع مورد استفاده قرار گرفته شد، در زیرمجموعه نهاده سوخت مصرفی قرار گردید. کودهای شیمیایی یکی از مهم‌ترین نهاده‌های ورودی به بوم نظام‌های کشاورزی است. کودهای شیمیایی (نیتروژن و فسفر) ازجمله کودهایی مورد استفاده در دشت‌های مذکور بودند که در مزارع گندم مورد مطالعه در این تحقیق گزارش شده بود. همچنین در مزارع گندم مصرف کود دامی گزارش شد. مقدار مصرف سموم کشاورزی مورد استفاده در منطقه مورد مطالعه شامل قارچ‌کش‌ها، علف‌کش‌ها و حشره‌کش‌ها بودند و تحت نهاده مواد شیمیایی ارزیابی گردید. یکی دیگر از نهاده‌های ورودی آب مصرفی است. بخش عظیمی از تأمین اراضی آبی دشت‌های دهگلان استفاده از آب آبخوان‌های زیرزمینی است که جهت تأمین آب مورد نیاز جهت پمپاژ آب از الکتروموتور پمپ‌های الکتریکی استفاده می‌کنند. میزان برق مصرفی مورد استفاده بر اساس کارکرد کنتور حجمی چاه‌های زراعی برحسب (کیلووات‌ساعت) در طول فصل رشد محصول ثبت و سپس با استفاده از ضریب تبدیل میزان انرژی الکتریسیته مصرفی (برق مصرفی) بر حسب مگاژول در هکتار محاسبه گردید و به عنوان یک نهاده ورودی مستقل در نظر گرفته شد. وزن بذر مصرفی، محصول گندم آبی در واحد هکتار نیز ثبت و سپس با ضرب در واحد تبدیل آن به‌صورت مگاژول در هکتار محاسبه گردید.

عملکرد دانه گندم و همچنین میزان کاه و کلش در واحد هکتار ثبت شد و سپس به‌عنوان نهاده‌های خروجی مورد بررسی قرار گرفتند.

سنجه‌های ارزیابی انرژی

با استفاده از معادل انرژی‌های ورودی و خروجی، کلیه اطلاعات ثبت شده در طول فصل زراعی در صفحه گسترده اکسل (Excel) وارد گردید و محاسبات با استفاده از این نرم‌افزار محاسبه شد. برای محاسبه شاخص‌های انرژی (کارایی مصرف انرژی، بهره‌وری انرژی، انرژی ویژه و انرژی خالص) از روابط ۱ تا ۴ استفاده گردید (Kitani *et al.*, 1999). همچنین سهم انرژی‌های مستقیم شامل (نیروی انسانی، الکتریسیته مصرفی، سوخت فسیلی و آب آبیاری (آب مصرفی)، غیرمستقیم شامل (بذر، مواد شیمیایی و ماشین‌ها)، انرژی‌های تجدیدپذیر شامل (نیروی انسانی و بذر) و تجدیدناپذیر شامل (سوخت فسیلی، کودها و مواد شیمیایی، ماشین‌ها و آب مصرفی) محاسبه شدند.

جدول ۱- هم‌ارزی انرژی برای نهاده‌های ورودی و خروجی

Table 1- Energy equivalence for input and output entities

انرژی نهاده یا ستانده Entities energy	واحد Unit	معادل انرژی Megajoule per unit	مرجع References
		الف) انرژی نهاده ورودی A) Input entities energy	
نیروی انسانی Human labor	hr	1.96	Singh *et al.*, 2002; Yilmaz *et al.*, 2005
تراکتور Tractor	kg	138	Kitani, 1999
ماشین‌ها Machinery	kg	62.70	Kitani, 1999
کمباین Combine	kg	116	Kitani, 1999
سوخت گازوئیل Diesel fuel	lit	56.31	Singh *et al.*, 2002
کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	kg	66.14	Esengun *et al.*, 2007; Yilmaz *et al.*, 2005
کود فسفاته Phosphate fertilizer	kg	12.44	Esengun *et al.*, 2007; Yilmaz *et al.*, 2005
کود پتاسه Potash fertilizer	kg	11.15	Esengun *et al.*, 2007; Yilmaz *et al.*, 2005
کود حیوانی Animal manure	kg	0.30	Asgharipour *et al.*, 2012
قارچ کش Fungicide	kg	92	Asgharipour *et al.*, 2012
علف‌کش Herbicide	kg	238	Asgharipour *et al.*, 2012
حشره‌کش Insecticide	kg	199	Asgharipour *et al.*, 2012
آب آبیاری Irrigation water	m^3	1.02	Asgharipour *et al.*, 2012
الکتریسیته مصرفی Electricity consumption	Kwh	11.93	Burhan *et al.*, 2004
بذر گندم آبی Irrigated wheat seeds	kg	14.70	BeheshtiTabar *et al.*, 2010
		ب) انرژی نهاده خروجی B) Output entities energy	
گندم آبی Irrigated wheat	kg	14.70	Burhan *et al.*, 2004
کاه و کلش Wheat straw and stubble	kg	12.50	Burhan *et al.*, 2004; Singh & Mittal, 1992

$$\text{نسبت انرژی} = \frac{\text{انرژی خروجی}\ (Mj\ ha^{-1})}{\text{انرژی ورودی}\ (Mj\ ha^{-1})} \quad (۱)$$

$$\text{بهره‌وری انرژی مصرفی} = \frac{\text{عملکرد محصول}\ (Kg\ ha^{-1})}{\text{انرژی ورودی}\ ((Mj\ ha^{-1})} \quad (۲)$$

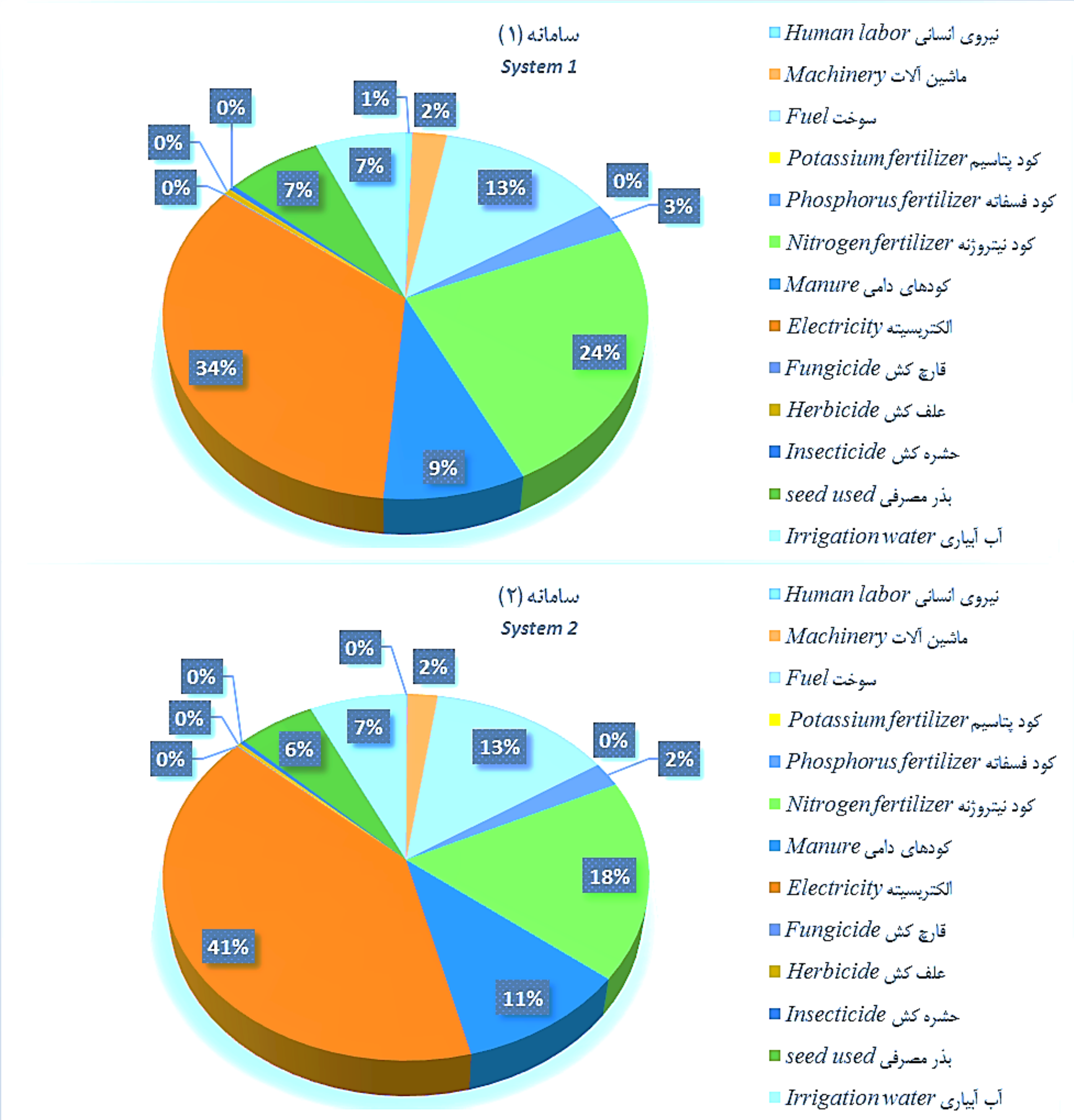
$$\text{انرژی ویژه} = \frac{\text{انرژی ورودی}\ (Mj\ ha^{-1})}{\text{عملکرد محصول}\ (Kg\ ha^{-1})} \quad (۳)$$

$$\text{انرژی خالص} = \text{انرژی خروجی}(Mj\ ha^{-1}) - \text{انرژی ورودی}\ (Mj\ ha^{-1}) \quad (۴)$$

جدول ۲- میزان مصرف انرژی نهاده‌های مصرفی برای تولید محصول گندم آب (مگاژول در هکتار)

Table 2– Energy Consumption of Inputs for Irrigated Wheat Production (MJ ha^{-1})

انرژی نهاده‌ها Energy inputs	گندم آبی Irrigated wheat سامانه ۱ System 1	سامانه ۲ System 2
ورودی‌ها Inputs		
نیروی انسانی Human labor	358.68	78.59
ماشین‌ها Machinery	1737.40	1895
سوخت Fuel	9009.60	11543.55
کود نیتروژنه Nitrogen fertilizer	16535	13228
کود فسفره Phosphorus fertilizer	1866	1866
کود پتاسه Potassium fertilizer	0	0
کود گوگردی Sulfur fertilizer	0	0
کودهای میکرو Micronutrient fertilizers	0	0
کود دامی Manure	6000	9000
علف‌کش Herbicide	357	238
قارچ‌کش Fungicide	92	92
حشره‌کش Insecticide	298.50	298.50
بذر مصرفی Seed used	4851	4851
الکتریسیته Electricity	23518.90	34812.53
آب آبیاری Irrigation water	4564.95	6056.60
کل انرژی ورودی Total input energy	69189.04	85943.97
خروجی‌ها Outputs		
دانه گندم آبی Irrigated wheat grain	88200	117600
کاه و کلش Straw and stubble	22500	32500
کل انرژی خروجی Total output energy	110700	150100



شکل ۱- سهم هریک از نهاده‌ها در تولید محصول گندم آبی سامانه (۱) و سامانه (۲)

Figure 1- Contribution of each input to irrigated wheat production in system (1) and system (2)

نتایج

ارزیابی انرژی‌های مصرفی ورودی و خروجی هر دو سامانه مذکور

مقدار انرژی نهاده‌های مصرفی برای تولید محصول گندم آبی در دو سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک (سامانه ۱) و ویلمو (سامانه ۲) در جدول ۲ ارائه گردیده است. همچنین شکل ۱ سهم هر یک از نهاده‌های ورودی جهت تولید محصول گندم در دو سامانه آبیاری را به تفکیک نشان می‌دهد. با توجه به نقش متفاوت تجهیزات آبیاری (پمپ، لوله، کمربند، شیرخودکار و غیره) به‌عنوان عوامل تولید ثابت و همچنین زمین به‌عنوان عامل تولید طبیعی، در این مطالعه از تحلیل این دو نهاده غیر مصرفی به دلیل استفاده مجدد کشاورزان در سال‌های آتی از تحلیل این دو نهاده صرف نظر می‌گردد.

مجموع انرژی‌های ورودی در یک هکتار گندم آبی در سامانه (۱)، ۶۹۱۸۹/۰۴ مگاژول در هکتار بود. در سامانه (۱) بیش‌ترین انرژی مصرفی را الکتریسیته ۳۳/۹۹ درصد از کل انرژی مصرفی، (۲۳۵۱۸/۹۰ مگاژول در هکتار) را به خود اختصاص داد. کل مواد شیمیایی مصرفی ۳۶/۳۴ درصد، (۲۵۱۴۸/۵۰ مگاژول در هکتار) از

کل انرژی‌های ورودی بود، در میان کودهای شیمیایی مصرفی کود نیتروژن بیش‌ترین مصرف انرژی را شامل بود (۲۳/۹۰ درصد از کل انرژی مصرفی) و در میان تمام نهاده‌های ورودی بعد از انرژی الکتریسیته در رتبه دوم قرار گرفت (۱۶۵۳۵ مگاژول در هکتار). ماشین‌های و سوخت گازوئیل در مجموع ۱۵/۵۳ درصد از کل انرژی ورودی (۱۰۷۴۷ مگاژول در هکتار) را به خود اختصاص دادند (۱۰۷۴۷ مگاژول در هکتار) که ۲/۵۱ درصد (۹۰۰۶۹ مگاژول در هکتار) مختص به ماشین‌های و ادوات کشاورزی و ۱۳/۰۵ درصد (۱۷۳۷/۴۰ مگاژول در هکتار)، مختص به سوخت گازوئیل بود. بذر با ۷/۰۱ درصد، آب مصرفی با ۶/۶۰ درصد و نیروی انسانی با ۰/۵۱ درصد به‌ترتیب (۴۸۵۱ مگاژول در هکتار)، (۴۵۶۴/۹۵ مگاژول در هکتار) و (۳۵۸/۶۸ مگاژول در هکتار) در مکان‌های بعدی قرار گرفتند. میانگین عملکرد و کل انرژی خروجی گندم آبی در سامانه (۱) به‌ترتیب ۸۸۲۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۱۰۷۰۰۹ مگاژول در هکتار به‌دست آمد.

کل انرژی ورودی در هر هکتار گندم آبی در سامانه (۲) معادل ۸۵۹۴۳/۹۷ مگاژول در هکتار محاسبه گردید که این میزان تقریباً ۲۴ درصد بیش‌تر از سامانه (۱) بود. در اکثر مزارع میزان انرژی نهاده‌های مصرفی به جزء (انرژی الکتریسیته، نیروی کارگری و آب مصرفی) اکثر نهاده‌های دیگر حدوداً باهم برابر بودند بنابراین اصلی‌ترین عامل تفاوت در میزان انرژی مزارع دو سامانه در میزان حجم آب مصرفی و الکتریسیته مصرفی بود. همانند سامانه (۱) از کل انرژی مصرفی انرژی الکتریسیته مصرفی با ۴۰/۵۱ درصد، بیش‌ترین مصرف را به خود اختصاص داد (۳۴۸۱۲/۵۳ مگاژول در هکتار). کل مواد شیمیایی مصرف شده (۲۶۷۰۶/۷۰ مگاژول در هکتار)، معادل ۳۱/۰۷ درصد از کل انرژی ورودی بود خود اختصاص داده بودند و مشابه سامانه (۱) در بین کودهای شیمیایی مصرفی کود نیتروژن بیش‌ترین سهم از نهاده مصرفی را در میان مواد شیمیایی مصرفی را داشت (۱۷/۷۰ درصد) که دلیل آن مصرف بیش‌تر این کود نسبت به سایر کودهای شیمیایی در واحد سطح و همچنین هم ارزی انرژی بالای آن در قیاس با سایر کودهای شیمیایی دیگر است. ازاین‌رو همانند سامانه (۱)، کودهای شیمیایی بعد از الکتریسیته مصرفی بالاترین مصرف انرژی ورودی را دارا بودند. مجموع انرژی مصرفی توسط دو نهاده ماشین و سوخت (۱۳۴۳۸/۵۵ مگاژول در هکتار)، معادل ۱۵/۶۵ درصد از کل انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص دادند که بعد از کودهای شیمیایی مصرفی در رده سوم قرار گرفتند. سهم آب آبیاری (۶۰۵۶/۶۰ مگاژول در هکتار)، بذر (۴۸۵۱ مگاژول در هکتار) و نیروی انسانی (۷۸/۵۸ مگاژول در هکتار) به‌ترتیب ۷/۰۷، ۵/۶۴ و ۰/۰۹ درصد از کل انرژی ورودی در رتبه‌های دیگر قرار داشتند. میانگین عملکرد و کل انرژی خروجی در سامانه (۲) برای گندم آبی به‌ترتیب ۱۱۷۶۰۰ کیلوگرم در هکتار و ۱۵۰۱۰۰ مگاژول در هکتار محاسبه شد (Haghighati, 2013). در گزارشی از یک طرح تحقیقاتی میزان عملکرد گندم در مزرعه‌ای با سامانه آبیاری بارانی در شهرستان شهرکرد ۶۲۰۰ کیلوگرم در هکتار اعلام کرد (Ebrahimipak *et al*., 2022). حجم آب مصرفی برای محصول گندم در شهرستان‌های اهواز، رزن و دامغان را به‌ترتیب ۴۸۳۷، ۵۲۳۵، ۷۳۹۵ و ۸۹۷۴ متر مکعب در هکتار گزارش کردند (Taghinazhad & Vahedi, 2022). مجموع انرژی خروجی گندم آبی در استان اردبیل ۶۵۰۱۶/۰۷ مگاژول در هکتار به‌دست آوردند.

بررسی میزان مصرف نهاده‌های مختلف نشان داد در هر دو سامانه مصرف نهاده الکتریسیته بیش‌ترین میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده است. (Ghasemi Mobtaker, 2020) میزان انرژی برق مصرفی در سامانه آبیاری ویلموو برای تولید محصول گندم ۱۴۲۰۵/۰۵ مگاژول در هکتار محاسبه کرد. در سال‌های اخیر با توجه به جایگزین کردن الکتریسیته به جای سوخت فسیلی، در برخی از مطالعات انرژی مصرفی به‌عنوان مهم‌ترین نهاده ورودی معرفی شده است. همچنین با مقایسه برق مصرفی بین دو سامانه نشان می‌دهد که سامانه (۲)، حدود ۳۲/۱۵ درصد در طی فصل رشد محصول گندم انرژی الکتریسیته بیش‌تری را مصرف کرده است. میزان برق مصرفی به عوامل هیدرولیکی همچون عمق سطح ایستابی آبخوان‌ها، فاصله چاه از مزرعه، وضعیت توپوگرافی مزارع و راندمان الکتروموتور پمپ‌ها در نقطه کار آن بستگی دارد. همچنین میزان دبی چاه متناسب با اراضی تحت پوشش و در نتیجه مدت زمان کارکرد آبپاش‌ها در هنگام آبیاری در طول فصل زراعی یکی دیگر از عوامل مؤثر بر میزان برق مصرفی محصولات است. متوسط فشار کارکرد آبپاش در سامانه آبیاری کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک (سامانه ۱)، ۴۰ متر و در سامانه آبیاری ویلموو (سامانه ۲)، ۳۵ متر است. بر همین اساس، فواصل بال‌ها در محدوده بازه‌های ۲۱ تا ۲۲ متر و فواصل جابه‌جایی لوله‌های چرخدار، ۱۵ متر است؛ بنابراین اگرچه سامانه آبیاری لوله چرخدار از فشار کارکرد آبپاش کم‌تری برخوردار بوده و در نتیجه مصرف انرژی کم‌تری نیاز دارد اما مدت زمان آبیاری یا به عبارتی مدت زمان کارکرد الکتروموتور پمپ در سامانه لوله‌لوله چرخدار (سامانه ۲) بیش‌تر از سامانه کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک (سامانه ۱) است در نتیجه منجر به برق مصرفی بیش‌تر گردیده است. در نهایت بنا به دلایل ذکر شده میزان برق مصرفی در سامانه (۲) بیش‌تر از سامانه (۱) خواهد بود. به‌منظور کاهش مصرف انرژی الکتریسیته در این بخش پیشنهاد می‌شود که از پنل‌های خورشیدی جهت تأمین انرژی الکتریسیته استفاده گردد هرچند که برای استفاده از پنل‌های خورشیدی جهت توجیه اقتصادی بودن طرح باید مطالعات گسترده در آن زمینه نیز صورت گیرد.

دو نهاده ورودی نیروی انسانی و آفت‌کش (قارچ‌کش، حشره‌کش و علف‌کش) کم‌ترین میزان انرژی مصرفی را برای تولید محصول گندم آبی در دو سامانه را به خود اختصاص داده بودند. برخی از

محققین (Kizilaslan, 2009; Mohammadi *et al.*, 2014; Nabavi-Pelesaraei *et al.*, 2016) گزارش کردند که نهاده نیروی انسانی کم‌ترین انرژی مصرفی را در بین انرژی‌های ورودی را به خود اختصاص داده است. همچنین به‌دلیل استفاده از نیروی انسانی کم‌تر جهت انجام فعالیت‌های کشاورزی نظیر (کودپاشی و سم‌پاشی و غیره) به جهت خرده مالکی بودن اکثر مزارع و فرآیند آبیاری در سامانه (۲)، این سامانه به نسبت سامانه (۱) نیروی کارگری کم‌تری نیاز داشت. مطالعات پیشین نشان داد که میزان انرژی مصرفی برای تولید گندم آبی در شرایط مختلف متفاوت است به‌طوری‌که در شرایط منطقه‌ای مشهد در حدود ۴۵۳۶۷/۶۳ مگاژول در هکتار (Ghorbani *et al.*, 2011) در سیستان و بلوچستان بدون احتساب برق مصرفی ۳۲۴۹۲/۹۷ مگاژول در هکتار (Ziaei *et al.*, 2013)، در استان اردبیل تقریباً ۳۸۷۵۵/۳۴ مگاژول در هکتار (Taghinazhad & Vahedi, 2022)، در ایالات ماماریای ترکیه ۲۰۶۳۵/۵۰ مگاژول در هکتار (Tipi, Cetin, & Vardar, 2009) و در استان همدان بدون احتساب آب مصرفی ۴۷۵۹۱/۵۲ مگاژول در هکتار گزارش شد (Ghasemi Mobtaker, 2020). عامل اصلی این اختلاف تفاوت‌ها با مطالعه مذکور تفاوت در اعمال مدیریتی توسط بهره‌برداران و کشاورزان و میزان مصرف نهاده‌ها بود. هر چند تفاوت در میزان انرژی ورودی از اهمیت بسیار کم‌تری به نسبت تفاوت در میزان بهره‌وری و کارایی انرژی دارد. اما مشخص کردن نهاده‌های مصرفی انرژی و سهم آن‌ها در تولید محصول بسیار حائز اهمیت است. به‌طور مثال برخلاف نتایج این مطالعه که الکتریسیته بیش‌ترین نهاده مصرفی گزارش شد. اما در شرایط منطقه‌ای مشهد: مصرف مواد شیمیایی (Ghorbani *et al.*, 2011)، همدان: سوخت فسیلی (Ghasemi Mobtaker, 2020)، گرگان: سوخت فسیلی (Rajaby *et al.*, 2012) و سیستان و بلوچستان: مصرف کودهای شیمیایی (Ziaei *et al.*, 2013) بیش‌ترین مصرف انرژی را دارا بودند هرچند در مطالعاتی دیگر همچون (Taghinazhad & Vahedi, 2022) بیش‌ترین مصرف انرژی نهادی ورودی برای تولید گندم آبی در استان اصفهان با دارا بودن ۵۵/۶۲ درصد و استان خراسان رضوی با ۵۰/۳۷ درصد سهم از کل انرژی ورودی بیش‌ترین مصرف را به الکتریسیته اختصاص دادند.

مقایسه کارایی و بهره‌وری انرژی در دو سامانه آبیاری (۱) و (۲) در مزارع گندم آبی

داده‌های جدول ۲ نشان می‌دهد میزان انرژی مصرفی در هر هکتار گندم آبی در سامانه (۱)، کم‌تر از سامانه (۲) است، در حالی‌که میزان انرژی خروج سامانه (۲)، ۲۶/۲۵ درصد بیش‌تر است. بنا به این دلیل که اکثر مزارع مجهز به سامانه (۱) در شرایط کم آبیاری قرار داشتند و میزان تنش آبی در آن مزارع بیش‌تر از مزارع سامانه (۲) بودند زیرا اکثر مزارع سامانه (۱) خرده ملکی بودند و آب در زمان مناسب و به‌اندازه نیاز آبی در اختیار آن‌ها قرار نمی‌گرفت. همچنین بر اساس مطالعات صورت گرفته، میزان شاخص‌های ارزیابی عملکرد از جمله یکنواختی پخش در سامانه (۲) بیش‌تر از سامانه (۱) است (Abbasi & Abbasi, 2017) که با عملکرد و انرژی خروجی مزارع مطابقت می‌کند. همچنین طبق جدول ۳، این مسئله نشان می‌دهد که در این منطقه کارایی مصرف انرژی سامانه (۱) (۱/۶۰)، پائین تر از کارایی مصرف انرژی سامانه (۲) (۱/۷۵) است. دلیل اصلی این تفاوت کارایی عملکرد محصول گندم آبی در سامانه (۲) بالاتر بود. مطابق جدول ۳ میزان بهره‌وری انرژی سامانه (۱) و سامانه (۲)، به‌ترتیب ۰/۰۸۷ و ۰/۰۹۳ کیلوگرم در مگاژول گزارش گردید. این بدان معنی بود که به ازای هر واحد مصرف انرژی در سامانه (۱)، ۰/۰۸۸ واحد عملکرد و در سامانه (۲)، ۰/۰۹ واحد عملکرد به‌دست می‌آید.

مقدار انرژی ویژه و خالص به‌ترتیب برای سامانه (۱) و سامانه (۲) در تولید محصول گندم آبی ۱۱/۵۳ مگاژول در کیلوگرم و ۴۱۵۱۰/۹۶ مگاژول در هکتار و ۱۰/۷۴ مگاژول در کیلوگرم و ۶۴۱۵۶/۰۳ مگاژول در هکتار به‌دست آمد. انرژی ویژه برعکس بهره‌وری انرژی است لذا مقدار کم‌تر آن نشان می‌دهد که انرژی کم‌تری به ازای تولید هر واحد عملکرد مصرف شده است؛ بنابراین سامانه (۲) از نظر سیر انرژی بدون توجه به بعد اقتصادی و فرهنگی منطقه برتر از سامانه (۲) در تولید محصول گندم آبی است (جدول ۳).

در جدول ۴ مقدار هر یک از انواع انرژی‌ها شامل انرژی مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید محصول آبی گندم در دو سامانه ارائه شده است. همان‌طور که مشخص است در سامانه (۲) سهم انرژی مستقیم به‌مراتب بیش‌تر از سامانه (۱) است. دلیل این موضوع مصرف بالای نهاده‌های سوخت گازوئیل و الکتریسیته است. در تقسیم‌بندی دیگر سهم انرژی تجدیدپذیر در هردو سامانه پائین است که این موضوع از دیدگاه اکولوژیک اهمیت قابل‌توجهی دارد به این خاطر منبع انرژی‌های تجدیدناپذیر که اکثراً سوخت‌های فسیلی هستند در آینده نزدیک رو به اتمام است و تکیه بر این منابع همراه با مخاطرات زیادی در آینده همراه است.

بحث

موضوع اصلی این مطالعه، ارزیابی روند انرژی مصرفی در سامانه‌های آبیاری بارانی در مزارع گندم آبی دشت‌های دهگلان استان کردستان بود.

جدول ۳- روابط بین انرژی‌های ورودی و خروجی در تولید گندم آبی
Table 3- Relationships between Input and Output Energies in Irrigated Wheat Production

نوع انرژی Energy type	واحد unit	سامانه ۱ System (1)	سامانه ۲ System (2)
نسبت انرژی Energy efficiency	-	1.60	1.75
انرژی ویژه Specific energy	MJ kg^{-1}	11.53	10.74
بهره‌وری انرژی Energy productivity	Kg MJ^{-1}	0.087	0.093
انرژی خالص Net energy	MJ ha^{-1}	41510.96	64156.03

جدول ٤- مقادیر انرژی‌های مستقیم، غیرمستقیم، تجدیدپذیر و تجدیدناپذیر در تولید گندم آبی
Table 4- Relationships between Input and Output Energies in Irrigated Wheat Production

نوع انرژی Energy type	واحد Unit	سامانه ۱ System (1)	سامانه ۲ System (2)
انرژی مستقیم Direct energy	MJ ha^{-1}	13933.23	17678.73
انرژی غیرمستقیم Indirect energy	MJ ha^{-1}	55255.80	68265.24
انرژی تجدیدپذیر Renewable energy	MJ ha^{-1}	5209.68	4929.58
انرژی تجدیدناپذیر Non-renewable energy	MJ ha^{-1}	63979.36	81014.38

در این مطالعه شاخص‌های انرژی محصول گندم در مزارع خرده مالکی کشاورزان دشت دهگلان استان کردستان مورد ارزیابی قرار گرفت. مزارع مورد مطالعه در دو گروه، سامانه (۱) (سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت- آبپاش متحرک) و سامانه آبیاری (۲) (سامانه آبیاری بارانی ویلموو) که منبع انرژی ورودی هر دو سامانه برق بود دسته‌بندی گردید. در پایان فصل زراعی، میزان کل نهاده‌های ورودی و خروجی به‌صورت تکمیل پرسشنامه حضوری و همچنین جهت اعتبار سنجی میزان نهاده مصرفی الکتریسیته، مقدار آن از شرکت برق شهرستان دهگلان، دریافت گردید.

نتیجه‌گیری

کل انرژی نهاده‌های ورودی جهت تولید محصول گندم آبی در سامانه (۱) و سامانه (۲) به‌ترتیب ۶۹۱۸۹/۰۴ و ۸۵۹۴۳/۹۷ مگاژول در هکتار بود. در نتیجه انرژی مصرفی در سامانه آبیاری بارانی ویلموو به خاطر مصرف بالای الکتریسیته و آب آبیاری به نسبت سامانه آبیاری بارانی کلاسیک ثابت-آبپاش متحرک بیش‌تر بود. نهاده الکتریسیته مصرفی در هر دو سامانه بیش‌ترین میزان انرژی مصرفی را به خود اختصاص داده بود. همچنین بهره‌وری و کارایی مصرف انرژی دو سامانه مذکور تقریباً باهم مساوی بود. میزان انرژی خالص سامانه آبیاری (۱) و سامانه آبیاری (۲) به‌ترتیب ۴۱۱۵۰/۹۶ و ۶۴۱۵۶/۰۳ مگاژول در هکتار بود. نکته قابل‌توجه در این مطالعه مربوط نهاده‌های مشخص و عملیات‌های رایج مورد ارزیابی قرار گرفت. فرآیند و فعالیت‌هایی مانند نقل و انتقال در طول فصل رشد و عوامل همچون محیطی و غیره وجود دارند که به‌دلیل عدم وجود داده‌های صحیح و قابل‌اطمینان از سوی کشاورزان، مورد ارزیابی قرار نگرفت. در نتیجه مقادیر کارایی مصرف انرژی و بهره‌وری انرژی در این مطالعه تا حدودی فراتر از مقادیر مطالعات دیگر به‌دست آمد. وابستگی شدید در تولید به انرژی‌های تجدیدناپذیر، به‌خصوص در سامانه آبیاری (۲) بیانگر ناپایداری آن در مزارع مورد مطالعه هست. ازاین‌رو پیشنهاد می‌شود مطالعاتی هم‌سو در جهت استفاده از سامانه‌های فتوولتایی[1] جهت استحصال و پمپاژ آب در سامانه‌های آبیاری انجام گیرد.

1- Photovoltaic system

سپاسگزاری

نویسندگان این مقاله از راهنمایی‌های دلسوزانه جناب آقای امجد گل‌محمدی قانع و جناب آقای زبیر مفاخری و سایر کشاورزان دلسوز و زحمت‌کش به پاس همکاری جهت تکمیل پرسشنامه‌های مربوطه و همچنین از شرکت برق شهرستان دهگلان استان کردستان برای همکاری در تهیه اطلاعات برق مصرفی سامانه‌های مورد مطالعه در سال ۱۴۰۰-۱۴۰۱، تقدیر و تشکر به عمل می‌آید.

References

1. Abbasi, F., & Abbasi, N. (2017). Water productivity in agriculture; Challenges and prospects. *Journal of Water and Sustainable Development, 4*(1), 141–144. https://doi.org/10.22067/jwsd.v4i1.67121
2. Aliabadi, H., Alizadeh, A., & Erfani, A. (2015). Energy and water productivity under different irrigation systems, (Case study of corn in Jovain agro-industry). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *9*(4), 571–582.
3. Almasi, M., Kiani, S., & Lvymy, N. (2008). Basics of agricultural mechanization. Iran: Forest Publication, 248.
4. Asgharipour, M.R., Mondani, F., & Riahinia, S. (2012). Energy use efficiency and economic analysis of sugar beet production system in Iran: A case study in Khorasan Razavi province. *Energy, 44*(1), 1078–1084. https://doi.org/10.1016/j.energy.2012.04.023
5. Bayat, F., Roozbahani, A., & Shahdany, S.M.H. (2022). AHP-Entropy-WASPAS technique for performance evaluation of agricultural surface water distribution systems based on water-food-energy nexus. https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1652590/v1
6. Bayazidi, M., & Kaki, M. (2021). Storage volume and exploitation changes of aquifers in the eastern plains of the Kurdistan province. *Iranian Journal of Ecohydrology, 8*(1), 57–72. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ije.2021.307139.1360
7. Beheshti Tabar, I., Keyhani, A., & Rafiee, S. (2010). Energy balance in Iran's agronomy (1990–2006). *Renewable and Sustainable Energy Reviews, 14*(2), 849–855. https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.10.024
8. Burhan, Ö. (2004). Managing product variety through delayed product differentiation using vanilla boxes (Master Thesis, Middle East Technical University). Middle East Technical University.
9. Ebrahimipak, N., Tafteh, A., Abbasi, F., & Baghani, J. (2022). Estimation of the actual amount of wheat irrigation water using the NIAZAB system and comparing with the farm measurement. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, *53*(9), 2075–2092. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijswr.2022.346273.669328
10. Elsoragaby, S., Yahya, A., Mahadi, M.R., Nawi, N.M., & Mairghany, M. (2019). Analysis of energy use and greenhouse gas emissions (GHG) of transplanting and broadcast seeding wetland rice cultivation. *Energy, 189*, 116160. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116160
11. Esengun, K., Gündüz, O., & Erdal, G. (2007). Input–output energy analysis in dry apricot production of Turkey. *Energy Conversion and Management, 48*(2), 592–598. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2006.06.006
12. Food and Agriculture Organization of the United Nations. (n.d.). Retrieved May 28, 2022, from https://www.fao.org/statistics/en/
13. Ghasemi Mobtaker, H., Akram, A., & Keyhani, A. (2012). Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. *Energy for Sustainable Development, 16*(1), 84–89. https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.10.009
14. Ghasemi Mobtaker, H. (2020). Investigation of energy consumption trend in two flood and sprinkler irrigation systems: Case study of one hundred hectare farm in Hamadan. *Iranian Journal of Biosystemsb Engineering, 50*(4), 801–809. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijbse.2019.281690.665189
15. Ghasemi Mobtaker, H., Sharifi, M., & Kaab, A. (2023). A study of changes in energy consumption trend and environmental indicators in the production of agricultural crops using a life cycle assessment approach in the years 2018-2022. *Iranian Journal of Biosystems Engineering, 54*(3), 1–18. (In Persian). https://doi.org/10.22059/ijbse.2023.364738.665522
16. Ghadami Firouzabadi, A., & Akbari, M. (2024). The effect of Irrigation system type on the amount of irrigation water, yield and water productivity of wheat in farmers conditions (case study: Hamadan province). *Iranian Journal of Irrigation & Drainage*, *17*(5), 831–842.
17. Ghahroudi Tali, M., Khodamoradi, F., & Ali Nouri, K. (2023). Effects of groundwater decrease on the of land subsidence in Dehgolan plain, Kurdistan province. *Environmental Management Hazards, 10*(1), 57–70. (In Persian). http://doi.org/10.22059/JHSCI.2023.359130.777
18. Ghorbani, R., Mondani, F., Amirmoradi, S., Feizi, H., Khorramdel, S., Teimouri, M., &Aghel, H. (2011). A case study of energy use and economic analysis of irrigated and dryland wheat production systems. *Applied Energy, 88*(1), 283–288. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2010.04.028
19. Giri, N.C., Mohanty, R.C., Pradhan, R.C., Abdullah, S., Ghosh, U., & Mukherjee, A. (2023). Agrivoltaic system for energy-food production: A symbiotic approach on strategy, modelling, and optimization. *Sustainable Computing: Informatics and Systems, 40*, 100915. (In Persian). https://doi.org/10.1016/j.suscom.2023.100915

20. Gholami, Z., Ebrahimian, H., & Nouri, H. (2015). Water and energy resources are limited; however, water and energy consumption for production of agricultural crops is increasing to meet the food dema. *Food Engineering Research*, *16*(3), 31–44. (In Persian). https://doi.org/10.22092/jaer.2015.102988
21. Gökdoğan, O., & Sevim, B. (2016). Determination of energy balance of wheat production in Turkey: A case study of Eskil district. *Tekirdağ Ziraat Fakültesi Dergisi*, *13*(4), 0–0.
22. Haghighati, B. (2013). Extension plan report - improving water management and optimization in agricultural production process. Chaharmahal and Bakhtiari Agricultural and Natural Resources Research Center. (In Persian)
23. Hamedani, S.R., Shabani, Z., & Rafiee, S. (2011). Energy inputs and crop yield relationship in potato production in Hamadan province of Iran. *Energy*, *36*(5), 2367–2371. https://doi.org/10.1016/j.energy.2011.01.013
24. Kheiralipour, K. (2022). *Sustainable production*. Nova.
25. Kiær, L.P., Skovgaard, I.M., & Østergård, H. (2009). Grain yield increase in cereal variety mixtures: A meta-analysis of field trials. *Field Crops Research*, *114*(3), 361–373. https://doi.org/10.1016/j.fcr.2009.09.006
26. Kitani, O., Jungbluth, T., Peart, R.M., & Ramdani, A. (1999). CIGR handbook of agricultural engineering. *Energy and Biomass Engineering*, *5*, 330.
27. Kizilaslan, H. (2009). Input–output energy analysis of cherries production in Tokat Province of Turkey. *Applied Energy*, *86*(7), 1354–1358. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2008.07.009
28. Mirbagheri, V., Nasiri Brothers, M., Emami, J., & Hosseini Thabit, S.M. (2016). Production and trade of basic agricultural products in the period of 2002-2017. (No. 250; p. 99). Iran: Vice President of Infrastructure Research and Production Affairs, Office of Infrastructure Issues (Agricultural Department), Islamic Council Research Center.
29. Ministry of Agriculture Jihad. (2020). Agricultural Yearbook 2019-2020. Tehran: Ministry of Agriculture Jihad. (In Persian)
30. Mobtaker, H.G., Akram, A., & Keyhani, A. (2012). Energy use and sensitivity analysis of energy inputs for alfalfa production in Iran. *Energy for Sustainable Development*, *16*(1), 84–89. https://doi.org/10.1016/j.esd.2011.10.009
31. Mohammadi, A., Rafiee, S., Jafari, A., Keyhani, A., Mousavi-Avval, S.H., & Nonhebel, S. (2014). Energy use efficiency and greenhouse gas emissions of farming systems in north Iran. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, *30*, 724–733. https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.11.012
32. Nazari, B., L, A., P, M., B, S., & A, H. (2016). Study of the theoretical basis and the factors affecting energy consumption in pressurized irrigation systems in Qazvin province. *Journal of Water Research in Agriculture*, *30*(2), 261–271. (In Persian). https://doi.org/10.22092/jwra.2016.106648
33. Nabavi-Pelesaraei, A., Rafiee, S., Mohtasebi, S.S., Hosseinzadeh-Bandbafha, H., & Chau, K. (2017). Energy consumption enhancement and environmental life cycle assessment in paddy production using optimization techniques. *Journal of Cleaner Production*, *162*, 571–586. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.06.071
34. Nasseri, A. (2024). Effects of irrigated and dryland conditions on energy indices in wheat production: A meta-analysis based on the principal components analysis. *Environment, Development and Sustainability*. https://doi.org/10.1007/s10668-024-04495-8
35. Niazmand, R., Moghadamnia, A., Tahmasebi, P., Nikmehr, S., & Maroufpoor, E. (2023). Productivity of water and energy use of potato in sprinkler irrigation systems (Case study: Dehgolan Plain, Kurdistan Province). *Advanced Technologies in Water Efficiency*, *3*(4), 116–137. (In Persian). https://doi.org/10.22126/atwe.2024. 10298.1106
36. Ozkan, B., Akcaoz, H., & Fert, C. (2004). Energy input–output analysis in Turkish agriculture. *Renewable Energy*, *29*(1), 39–51. https://doi.org/10.1016/S0960-1481(03)00135-6
37. Ortiz-Ca˜navate, J., & Hernanz, J.L. (1999). CIGR Handbook of Agricultural Engineering (Vol. 5). United States of America: American Society of Agricultural and Biological Engineers. Retrieved from https://doi.org/10.13031/2013.36411
38. Pimentel, D., Pimentel, M., & Food, E. (1996). *Society (Niwet, CO*. Colorado Press.
39. Sánchez-Sutil, F., & Cano-Ortega, A. (2021). Smart control and energy efficiency in irrigation systems using LoRaWAN. *Sensors*, *21*(21), 7041. https://doi.org/10.3390/s21217041
40. Rajaby, M.H., Soltani, A., Zeinali, E., & Soltani, E. (2012). Evaluation of energy use in wheat production in Gorgan. *Plant Production*, *19*(3), 143–171. (In Persian). https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222050.1391.19.3.9.9
41. Senbeta, A.F., & Worku, W. (2023). Ethiopia's wheat production pathways to self-sufficiency through land area expansion, irrigation advance, and yield gap closure. *Heliyon*, *9*(10), e20720. https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e20720
42. Singh, S., & Mittal, J.P. (1992). *Energy in Production Agriculture*. Mittal Publications.
43. Singh, H., Singh, A.K., Kushwaha, H.L., & Singh, A. (2007). Energy consumption pattern of wheat production in India. *Energy*, *32*(10), 1848–1854. https://doi.org/10.1016/j.energy.2007.03.001
44. Taghinazhad, J., & Vahedi, A. (2022). Energy consumption modeling and sensitivity analysis of energy inputs for irrigated wheat production; Case study: Ardabil province. *Agricultural Mechanization*, *6*(4), 11–19. (In Persian). https://doi.org/10.22034/jam.2022.14202
45. Tipi, T., Cetin, B., & Vardar, A. (2009). An analysis of energy use and input costs for wheat production in Turkey. *Journal of Food, Agriculture & Environment*, *7*(2), 352–356.

46. Vahedi, A., & Zarifneshat, S. (2021). Evaluation energy flow and analysis of energy economy for irrigated wheat production in different geographical regions of Iran. *Journal of Agricultural Machinery*, *11*(2), 505–523. https://doi.org/10.22067/jam.v11i2.81747
47. Yadi, E., Barari Tari, D., & Mahmoudi, M. (2022). Investigating the amount of energy consumption and the relationship between input and output energy in wheat production. *Journal of Plant production Sciences*, *1*(2), 59. https://doi.org/10.2./jpps.2022.691243
48. Yilmaz, I., Akcaoz, H., & Ozkan, B. (2005). An analysis of energy use and input costs for cotton production in Turkey. *Renewable Energy, 30*(2), 145–155. https://doi.org/10.1016/j.renene.2004.06.001
49. Zangeneh, M., Omid, M., & Akram, A. (2010). A comparative study on energy use and cost analysis of potato production under different farming technologies in Hamadan province of Iran. *Energy*, *35*(7), 2927–2933. https://doi.org/10.1016/j.energy.2010.03.024
50. Ziaei, S.M., Hosseinpanahi, F., Valizadeh, J., & Barabadi, S.A. (2013). Comparison of production effectiveness of wheat and barley in terms of energy use and productivity in Sistan and Blochestan province. *Iranian Journal of Field Crops Research*, *11*(2), 327–336. (In Persian). https://doi.org/10.22067/gsc.v11i2.26148
51. Zulfiqar, U., Ahmad, M., Valipour, M., Ishfaq, M., Maqsood, M.F., Iqbal, R., & El Sabagh, A. (2023). Evaluating optimum limited irrigation and integrated nutrient management strategies for wheat growth, yield and quality. *Hydrology*, *10*(3), 56. https://doi.org/10.3390/hydrology10030056